

IAU データ同化手法のメソ気象モデルへの導入と 台風 9918 号の海上風・波浪・高潮の追算

河合弘泰¹・中野俊夫²・川口浩二³・松浦邦明⁴

メソ気象モデルを台風周辺の気象場の推算に用いる試みがなされているが、台風の進路や中心気圧が十分に再現できないという課題がある。これを解決する方法の一つにデータ同化があり、ナッジングがよく知られている。本研究では、ナッジングに加え IAU によるデータ同化を行いながら台風 9918 号の気象場を推算するとともに、そこで得られた海上風と海面気圧を用いて周防灘の波浪と高潮を推算した。その結果、データ同化をしない場合でも、観測値に比較的近い海上風速、海面気圧、有義波諸元、高潮偏差のピーク値は得られた。IAU 手法を用いると、ナッジングの欠点であった時間遅れが改善され、ピークの起時の精度も良くなった。

1. はじめに

従来、台風に伴う高潮や波浪の推算の実務では、パラメトリックな 2 次元台風モデル（例えば、光田・藤井, 1997）による風場や、その風を初期値として Mascon モデルを用い、周辺の陸上地形に対して大気の流れが満たされるように修正した風場が用いられてきた。しかし、この方法には、台風の非対称性を考慮できず、地形の影響を気象学的には考慮できない、という限界がある。そのため、観測風との相関で海上風の補正ができない場合には、海上風の推算精度が十分でないために、波浪や高潮の推算精度が十分に得られないことも少なくない。

近年では、このような問題を根本的に解決するための一つの方法として、高精度なメソ気象モデルを用いた台風周辺の風場の推算が試みられている（大澤ら, 2001）。ただし、この手法においても、台風の中心部の気圧低下が十分に再現できないために風速が合わない、台風の進路の推算精度が十分でないために風速のピーク値は合ってもその起時が合わない、などの課題が残されている。このような推算誤差はデータ同化技術によって抑制できると期待されているものの、従来から使われてきたナッジングでは必ずしも十分なデータ同化はできない。

そこで本研究では、新たなデータ同化手法を導入し、台風の進路や中心気圧の推算精度を向上させることで、海上風の精度を高め、さらに波浪・高潮の推算精度を向上させることを目指した。

2. 台風周辺の気象場の推算法

本研究で用いたメソ気象モデルは、ペンシルバニア州

立大学と米国大気科学センターで開発された MM5 である。計算領域としては、図-1 に示すように、格子間隔が 13.5 km の第 1 領域（140×140 格子）と 4.5 km の第 2 領域（181×271 格子）を設け、これらの間で 2 way のネスティングを行った。これらの領域の初期値と境界値には、気象庁の客観解析値（RANAL）に気象庁 ANL に準じた台風ボーガス埋め込んだものを与えた（大澤, 2005）。

MM5 は、境界値を与えながら計算領域内の気象場の時間発展を計算していくモデルである。このモデルを用いて台風の進路や中心気圧を精度良く再現するためには、気象庁のベストトラックに対応する解析値に 4 次元同化を行う必要がある。その 4 次元データ同化の手法としては、これまでナッジング（Guo・Kuo, 1994）が広く用いられてきたが、ナッジングには推算値にスムージングをかける効果があるため台風の中心気圧が浅くなる、解析値の時間変化に対して推算値の時間変化が遅れる、という問題がある。

そこで本研究では、ナッジングを改良した手法である IAU（Incremental Analysis Update ; Bloom ら, 1995）についても検討することにした。IAU は、推算値と解

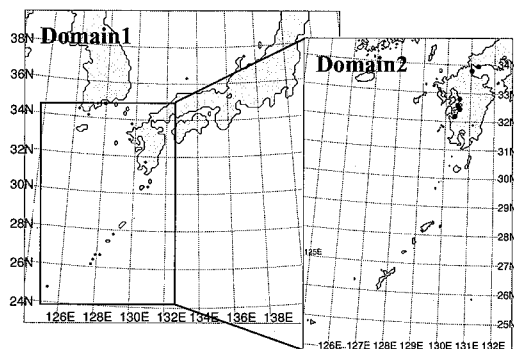


図-1 計算領域（●は港湾関係の観測地点）

- | | | |
|-------|------|---------------------------------|
| 1 正会員 | 修(工) | (独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部海洋・水理高潮研究室長 |
| 2 | 修(理) | (財)日本気象協会 首都圏支社調査部応用気象課 |
| 3 正会員 | 博(工) | (独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部主任研究官 |
| 4 | 水修 | (財)日本気象協会 首都圏支社調査部応用気象課 |

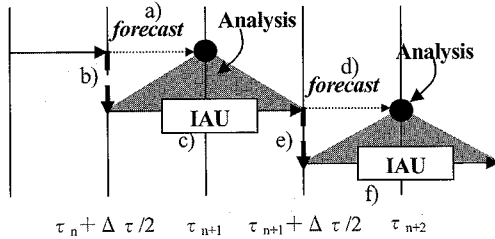


図-2 IAU の計算手順

析値の誤差をあらかじめ計算し、その誤差を Analysis Increment として同化する手法であり、ナッジングに比べてスムージングの効果が小さく、推算値の時間遅れも生じにくい。その計算手順を図-2に示す。すなわち、

- 解析時刻の中間点 ($\tau_n + \Delta\tau/2$) から次の解析時刻 (τ_{n+1}) までを、同化なしで計算する。ここで、解析値の間隔 $\Delta\tau$ は、台風のベストトラック解析の間隔である3時間である。
- 解析時刻 (τ_{n+1}) において、解析値と推算値の差 (Analysis Increment) を算出する。
- その誤差を外力として、解析時刻の中間点 ($\tau_{n+1} + \Delta\tau/2$) まで計算を行う。その際に、($\tau_{n+1} + \Delta\tau/2$) でリスタートに必要なファイルを残しておく。

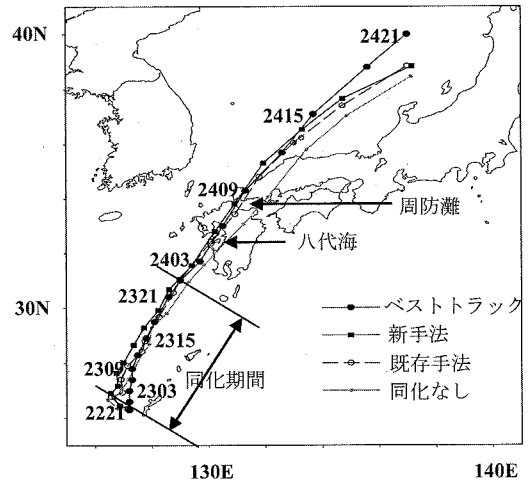
d) ~ f) a) ~ c) と同様。

という手順である。

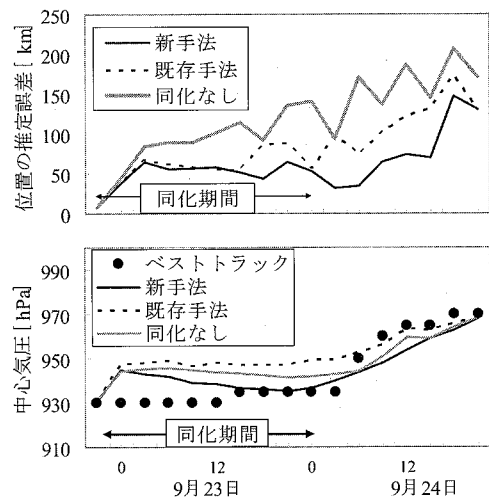
3. データ同化手法による台風の推算精度の比較

本研究では、a) データ同化なし、b) 既存手法 (ナッジング)、c) 新手法 (IAU) の3つの方法で、台風9918号の気象場を推算した。推算した期間は、図-3(a)に示すように、台風が沖縄本島付近に位置する9月22日21時から能登半島の北方に達する24日21時までの48時間である。ただし、台風ポーガスは台風の非対称構造を詳細に表現できるものではなく、八代海や周防灘など陸地の影響で台風の非対称性が顕著になるところでデータ同化を行うと、実現象と違う気象場に合わせこむことになる。そこで本研究では、台風が九州に上陸する前の9月24日00時までをデータ同化の期間とした。図-3は、各手法で推算した台風の進路、進路の推定誤差の経時変化、中心気圧の経時変化を示す。なお、気象モデルにおける台風の中心は、海面更正気圧が最低となる点と定義した。

台風9918号の実際のコースは、(a)にベストトラックとして示すように、熊本県牛深市付近に上陸し、八代海の北側を通過し、周防灘を抜けて、山口県宇部市付近に再上陸するものであった。データ同化をしない場合の進



(a) 進路



(b) 位置の推定誤差と中心気圧

図-3 台風の進路と中心気圧の推定精度

路は、(a)に示すようにベストトラックの右寄りとなり、台風の中心位置の推定誤差は、(b)に示すように推算開始から48時間のうちに200 kmに達した。データ同化の既存手法では、(a)に示すようにほぼベストトラックと重なる進路に制御されたが、その通過時刻には著しい遅れがあった。新手法では、ほぼベストトラックと重なる進路に制御され、通過時刻の遅れも既存手法より小さくなった。

(b)に示すように、台風の中心位置の推定誤差はこれから3つの手法の中では最小である。なお、何れの手法でも推算開始直後に台風が西進しているが、この挙動は本研究でMM5の初期値・境界値に用いた気象庁RSMの

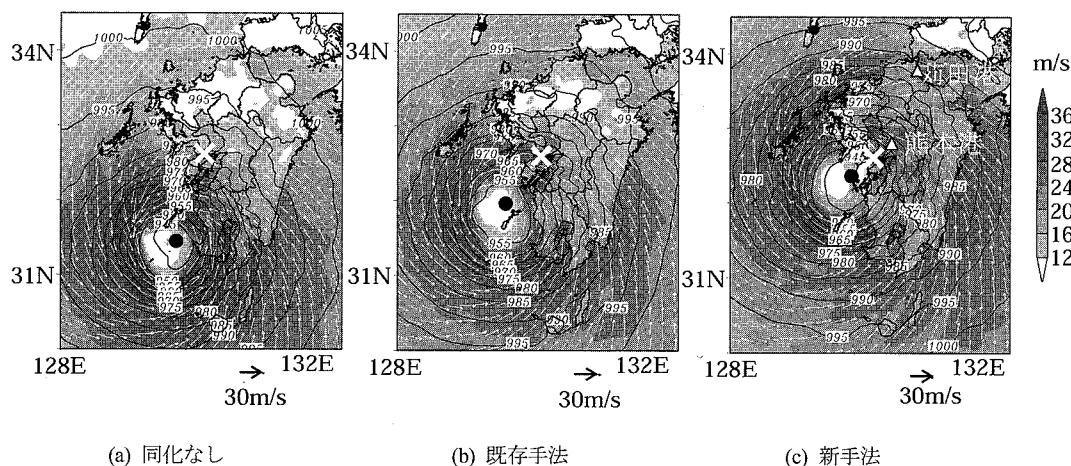


図-4 各手法の 10m 高度風速(陰影部, 単位:m/s)と気圧(実線, 単位:hPa)の分布(1999年9月24日5時JST, ×は解析値の台風中心, ●は気象モデルの台風中心)

予報値にも見られるものである。したがって、台風ボーガスモデルや MM5 自体に起因するものではないと考えられる。

台風の実際の中心気圧は、(c)にベストトラックの値として示すように、22日21時～24日3時は930～935 hPaであり、熊本県牛深市付近に上陸した24日6時頃から顕著に上昇し、能登半島の北方に達した24日21時には970 hPaに達した。データ同化をしない場合には、中心気圧が推算開始とともに増加し、24時間後の23日21時にはベストトラック解析値より6 hPa高い941 hPaに達した。既存のデータ同化手法では、同化をしない場合よりむしろ中心気圧の増加は著しく、23日21時にはベストトラック解析値より12 hPa高い947 hPaに達した。新手法では、ベストトラック解析値に近い935 hPaが得られている。なお、推算開始からしばらくの間で中心気圧が増加するのは、台風のスピナップによるものと考えられる。

図-4は、各手法で推算した、24日5時における10m高度の風速と海面更正気圧の平面分布を示す。データ同化をしない場合は、台風が解析値から南南西に135 kmほど離れたところにあり、それに伴って強風域の位置も大きくずれている。データ同化の既存手法を用いると、台風の中心の位置は解析値に近づくが、中心気圧が解析値の945 hPaより約7 hPa高いために、他の手法と比較して風速は全体的に小さい。新手法では、台風の中心位置・中心気圧ともに誤差は小さかった。この時刻に熊本港では28.7 m/sの風速が観測されたが、データ同化をしない場合に15.2 m/s、データ同化の既存手法で20.5 m/s、新手法で27.0 m/sが得られた。すなわち、これらの手法の中では新手法が最もよく合っている。

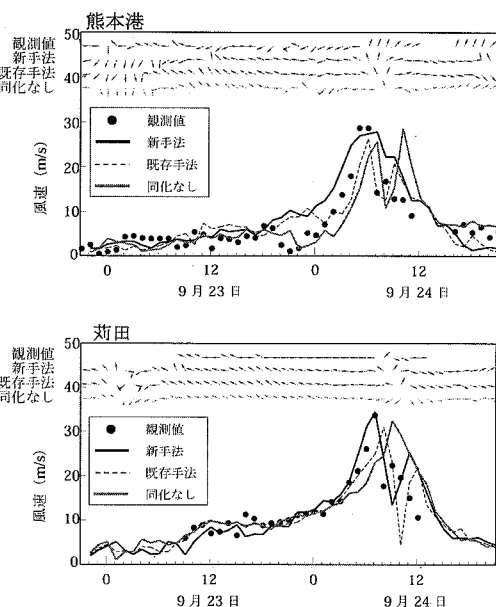


図-5 熊本港・菊田における海上風の経時変化

図-5は、熊本港と菊田における海上風の経時変化を示す。何れの地点にどの手法を用いても最大風速の値は概ね再現されているが、新手法を用いると最大風速の起時までよく合っている。データ同化をしないと、台風の進路が大きく右にそれるため、菊田では風速のピークが一つしかない。

図-6は、牛深、山口における海面更正気圧の経時変化を示す。何れの地点でも、新手法を用いることで、最低気圧の起時がよく合っている。ただし、新手法では山口の最低気圧値がベストトラック解析値より約10 hPa

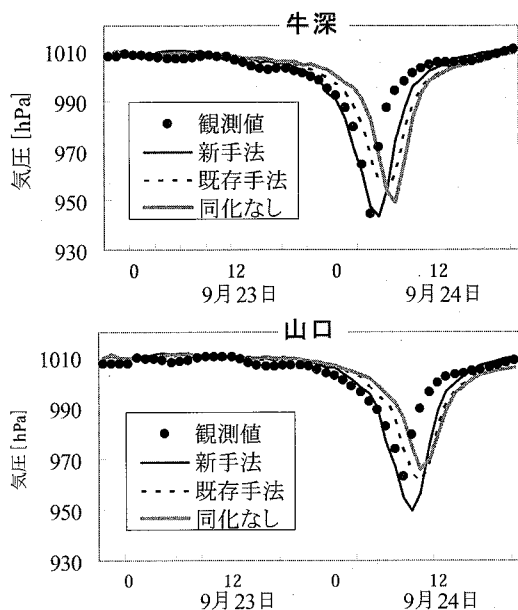


図-6 代表地点における海面更正気圧の経時変化

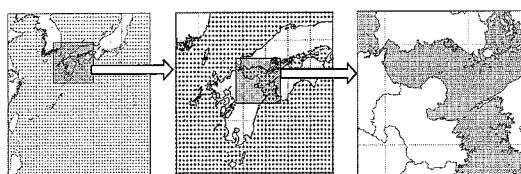


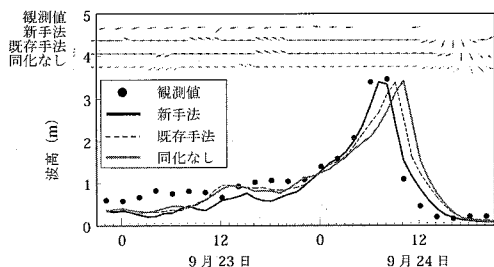
図-7 波浪推算の計算領域 (左から, 広領域, 中領域, 小領域)

低くなった。なお、図-5に示した期間に対して、この台風の経路に近い6地点(熊本港、八代港、水俣港、三角港、荇田港、宇部空港)について、全地点の風速の観測値と推算値から相関係数を計算すると、データ同化をしない場合に0.747、既存手法で0.819、新手法で0.848であった。

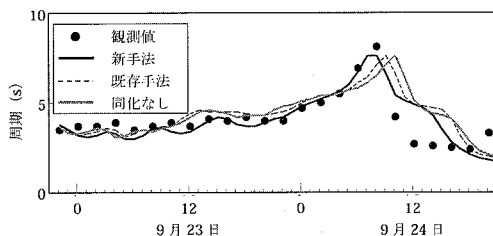
4. 波浪の推算

前章で推算した海上風を用い、第三世代波浪推算モデル WAM Cycle4 によって、瀬戸内海西部の波浪を推算した。図-7は計算領域の構成であり、広領域(格子間隔は $30'$)と中領域($10'$)は深海条件、小領域($1'$)では浅海条件(浅水変形、屈折を考慮)で計算した。周波数は35成分(約 $0.9 \sim 24$ s)、波向は16成分とした。

図-8は、荇田における有義波諸元の経時変化を示す。何れの手法による海上風でも観測値に近い有義波高のピーク値は得られたが、新手法ではピークの起時までよく一致した。すなわち、新しいデータ同化手法で台風の位



(a) 有義波高



(b) 有義波周期

図-8 荇田における波浪の経時変化

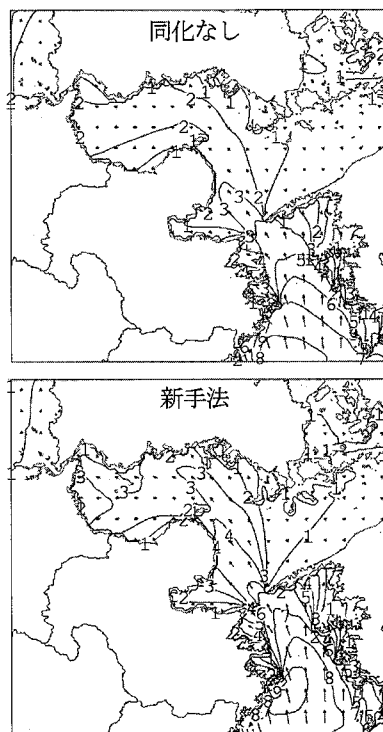


図-9 同化なし、新手法の有義波高の平面分布 (1999年9月24日7時)

置の精度が高まると、海上風の経時変化の精度も高まり、その結果として波浪の推算精度も高めることができる。

図-9 は、9 月 24 日 7 時の有義波高の分布である。高波浪が豊後水道から周防灘の東部に進入する一方で、周防灘の西部では東風による湾内発生波によって波高が高くなっている。新手法による海上風を用いた方が、波高が高く、豊後水道で 9 m、周防灘で 3 m に達する。

5. 高潮の推算

波浪推算と同様に、3 章で得られた海上風と海面気圧を用いて、瀬戸内海西部の高潮を推算した。その推算には、三次元レベルモデルを用い、第 1 層を海面～水深 10 m、第 2 層を水深 10～40 m、第 3 層を水深 40 m～海底とした。海面抵抗係数にはバルクモデル（横山，1993）を用い、熱 flux は考慮せず、密度は水平・鉛直

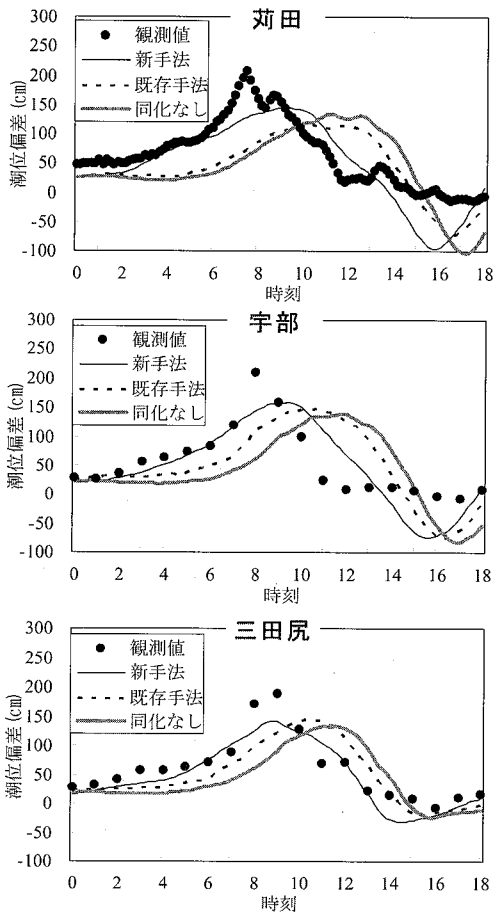


図-10 代表地点における高潮偏差の経時変化

とも一様とした。計算格子は緯度、経度方向に 1' とした。側方境界には、気圧偏差から換算した潮位を与えた。

図-10 は代表地点における高潮偏差の経時変化を示す。どの手法による海上風と気圧を推算しても、高潮偏差のピーク値に大差はなく、観測値よりも小さな値が得られた。また、データ同化をしない場合や従来のデータ同化手法ではピークの起時に遅れがあったが、新手法ではこれがかなり解消されている。

6. おわりに

本研究では、台風 9918 号を例に、MM5 でデータ同化をさせながら台風周辺の気象場を推算し、そこで得られた海上風や海面気圧を用いて周防灘の波浪や高潮を推算した。その結果、以下のことが分かった。

- ①データ同化を行うことで台風の進行方向の誤差が小さくなる。データ同化手法の中でも、ナッジングより IAU の方が通過時刻の誤差を小さくできる。
- ②データ同化をしてもしなくても、海上風、気圧、有義波諸元、高潮偏差のピーク値に大差がないこともあるが、ピークの起時を合わせるためには IAU によるデータ同化が有効である。

なお、IAU によって台風の進路の推算精度を高めることはできたが、波浪や高潮の推算のためにはまだ十分とは言えず、さらに精度を高めるための工夫をしていきたい。

参考文献

- 大澤輝夫(2005)：MM5 用台風ボースツールの作成と 2004 年の 5 つの台風を対象とした動作検証，月刊海洋，号外 42 号，pp. 178-185.
- 大澤輝夫・竹山剛生・安田孝志(2001)：メソ気象モデルと台風ボースツールの用いた伊勢湾台風時の風の場のシミュレーション，海岸工学論文集，第 48 巻，pp. 281-285.
- 光田 寧・藤井 健(1997)：台風による風災害の予測，日本風工学会誌，第 72 号，pp. 73-91.
- 横山長之編(1993)：海洋環境シミュレーション—水の流れと生物—，白亜書房，pp. 85-112.
- Bloom, S. C., L. L. Takacs, A. M. Da Silva, and D. Ledvina(1995)：Data Assimilation Using Incremental Analysis Updates. Monthly Weather Review, pp. 1256-1271.
- Guo, Y. R. and Y. H. Kuo(1994)：Testing of Newtonian nudging technique in data assimilation on the meso-beta-scale, Proc. of the Fourth Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Science Team Meeting, Charleston, South Carolina, pp. 167-171.